

프리캐스트 콘크리트 포장에 프리스트레싱 기법 도입을 위한 검토

Application of Prestressing Technology for Precast Concrete Pavements

김 성 민¹⁾ 박 회 범²⁾ 한 승 환³⁾

Seong-Min Kim, Hee Beom Park, Seung Hwan Han

ABSTRACT

The important factors that should be considered when designing and constructing the precast prestressed concrete pavement were investigated in this study. Those factors included traffic and environmental loads, interaction between the concrete slab and the underlying layers, determination of the slab thickness and the prestressing amount. In addition, the behaviors of the precast prestressed concrete pavement when post-tensioning was applied were analyzed using a finite element model. The effects of the number of anchors, the horizontal resistance of underlying layers, the pavement length, the slab thickness, and the bearing area of the anchorage on the distribution of compressive stresses were analyzed.

1. 서 론

본 연구에서는 프리캐스트 슬래브를 이용하여 포장체를 건설할 수 있는 방법들 중 그림 1에서 보인 바와 같이 프리캐스트 슬래브를 나열한 후 프리스트레싱 기법을 이용하여 슬래브 간의 체결을 유도하는 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장 공법의 설계 시 고려해야 할 여러 가지의 사항에 대하여 검토를 수행하였다.

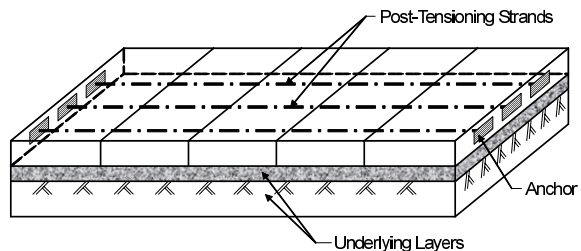


그림 1. 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장 개념도

설계 시 고려해야 할 검토 항목으로는 차량하중에 의한 응력 및 피로파손, 환경하중의 영향, 슬래브와 하부층과의 상호 관계, 그리고 두께 설계 및 긴장량 산정 등을 들 수 있다. 또한 구조해석을 통하여 긴장을 가하는 위치인 정착구의 개수에 따른 포장체의 응력 분포를 분석하여 횡방향으로 적절한

1) 정희원, 경희대학교 토목건축대학 토목공학전공 교수, 공학박사

2) 정희원, 경희대학교 토목공학과, 박사과정

3) 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원, 공학박사

정착구 간의 거리를 파악하였으며, 하부층과 슬래브 간의 마찰이 긴장 시 포장체의 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 그 외에 포장체의 길이, 슬래브의 두께, 정착구의 전단면적 등 프리캐스트 프리스트레스트 포장의 설계 변수가 포장체를 긴장할 때 포장체의 거동에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

2. 설계 시 고려해야 할 검토 사항

가. 차량하중 및 환경하중

콘크리트 포장은 차량하중에 의하여 인장응력을 받게 되며 이러한 인장응력은 콘크리트 포장의 피로 파손과 직접적인 관련이 있다. 차량하중에 의한 피로파손을 예측하는 경험적인 공식이 많이 개발되어 있으며 이를 이용하여 설계 수명 동안의 교통량을 예측한 후 콘크리트 포장을 설계할 수 있게 된다. 콘크리트 포장은 차량하중 뿐만 아니라 환경하중에 의해서도 응력을 받게 된다. 환경하중은 콘크리트의 온도 및 수분 함량을 변화시켜 콘크리트 포장에 응력을 발생시킨다. 온도 변화는 콘크리트 포장을 길이 방향으로 수축 또는 팽창하게 만들고 슬래브 상하부의 온도차는 켈링 현상을 유발하게 되므로 길이가 긴 프리캐스트 프리스트레스트 포장의 설계 시 이러한 거동을 검토하여야 한다. 또한 수분의 손실에 의한 건조수축은 슬래브를 수축시키게 되며 상하부의 건조수축 차이는 슬래브에 켈링 현상을 발생시키게 된다. 그러나 프리캐스트 포장은 이미 건조수축이 거의 다 진행된 슬래브를 사용하기 때문에 건조수축에 따른 포장체의 길이 방향의 수축은 크게 고려할 사항이 아니며 슬래브 상하부의 수분 함량 차이에 따른 켈링은 그리 크지 않을 것으로 사료된다.

나. 슬래브의 하부층에 의한 영향

프리캐스트 프리스트레스트 포장은 길이가 매우 길기 때문에 슬래브와 하부층과의 마찰 및 하부층의 전단 저항에 의해 거동이 크게 영향을 받는다. 마찰 저항은 종방향 변위를 구속하여 긴장 시에 가해지는 압축응력의 손실을 야기하게 된다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 포장체의 양단에서 압축력을 가하게 되면 슬래브와 하부층 간의 마찰 저항이 없을 경우에는 중앙에서 종방향 변위가 발생하지 않으며 가해지는 응력이 골고루 포장체에 분포하게 된다. 하지만 마찰 저항이 있으면 포장체의 중앙부로 갈수록 양단에서 가해지는 응력이 그대로 전달되지 않아 손실이 생기게 된다. 따라서 슬래브와 하부층 간의 마찰을 최소화 하는 것이 중요하며 만약에 마찰 저항이 존재하면 이를 적절히 파악하여 이에 의한 응력 손실을 가만하여 긴장량을 산정하는 것이 중요시 된다.

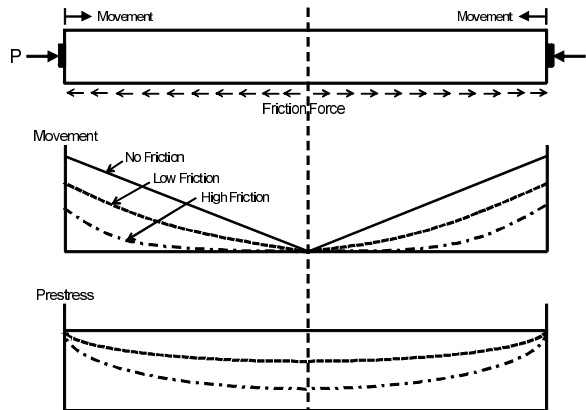


그림 2. 하부층과의 마찰저항 영향

다. 두께 설계 및 긴장량 산정

두께와 긴장량 산정은 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장을 설계할 때 가장 중요한 두 가지 항목이다. 이를 위해 우선 포장이 어떠한 두께의 콘크리트 포장을 대신하여 건설되어질 것인지를 결정한다. 그리고 이러한 포장에 차량 및 환경하중에 의해 발생하는 인장응력을 예측한 후 프리캐스트 슬

래브의 두께를 결정하여 감소된 두께를 가지는 슬래브에 하중이 작용할 때의 응력을 구하고 이러한 응력을 감소시켜서 원래 두께를 가지는 포장에 발생하는 응력과 같아질 수 있는 크기의 응력을 구해 긴장량을 결정한다. 그림 3은 이러한 원리를 보여준다.

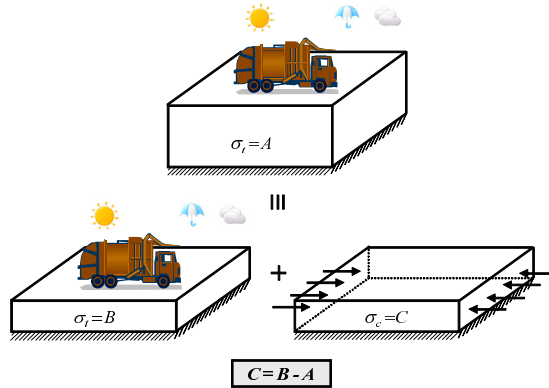


그림 3. 긴장응력 크기 결정을 위한 개념

3. 구조해석을 통한 긴장시 포장체의 거동 분석

가. 정착구 개수의 영향

ABAQUS를 통해 3차원 고체 요소를 사용하여 모델링 하였다. 본 구조해석을 통하여 정착구의 개수에 따른 영향을 분석하기 위하여 우선 정착구의 개수가 다를 때의 응력 분포를 조사하였고 이를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 4개 이상의 정착구를 가질 때는 응력 분포가 거의 일치하게 됨을 알 수 있다. 정착구의 개수에 따른 프리캐스트 프리스트레스트 포장의 긴장 시 응력 분포 및 변형에 대한 구조 해석 결과를 살펴보면 정착구 근처에서의 응력 손실이 작으며 경제성과 시공 용이성을 고려했을 경우에 6개의 정착구를 두는 것이 바람직한 것으로 분석된다. 또한 정착구가 놓이는 조인트 부분의 양단은 긴장 시 압축 응력이 제대로 가해지지 않을 수 있으므로 철근 등을 이용한 보강 설계가 필요시 된다.

나. 하부층 수평저항의 영향

그림 5에서는 하부층 수평저항이 다를 때 포장체의 하부 모서리를 따라 변화하는 응력의 분포를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있

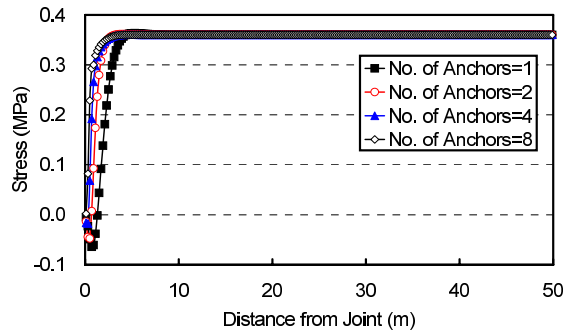


그림 4. 정착구 수에 따른 슬래브 하부 모서리를 따라 발생한 종방향 응력 분포

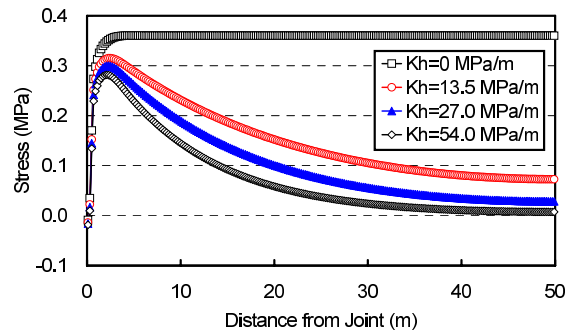


그림 5. 하부층 수평저항(Kh)에 따른 슬래브 하부 모서리를 따라 발생한 응력 분포

는 바와 같이 정착구의 근처에서는 하부층 수평저항에 관계없이 응력이 급격히 증가하며 응력의 변화가 거의 같은 것을 알 수 있지만, 수평저항이 증가할수록 종방향을 따라 응력의 감소가 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 응력의 손실을 최소화하기 위해서는 슬래브 하부와 하부 지지층 사이에 발생할 수 있는 수평저항을 줄여야 할 것이다.

다. 포장체 길이의 영향

구조해석을 통하여 포장체의 길이에 따른 응력 분포를 분석한 결과 하부층의 수평저항이 없을 경우에는 포장체의 길이에 관계없이 압축응력의 수렴값이 일치하게 되며 정착구로부터의 응력분포도 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 하지만 하부층의 수평저항이 있을 경우에는 정착구 근처에서의 응력분포는 길이에 관계없이 거의 일치하지만 정착구에서 멀어지며 중앙부로 갈수록 압축응력의 감소정도가 포장체의 길이가 길어짐에 따라 증가함을 알 수 있었다. 따라서 하부층의 수평저항을 극소화시키기가 쉽지 않아서 상당한 크기의 하부층 수평저항이 예상될 때에는 포장체의 길이를 가급적 줄이는 설계를 하여 압축응력의 손실이 크게 발생하지 않도록 하는 것이 바람직하다.

라. 슬래브 두께의 영향

슬래브의 두께가 긴장력에 의한 압축응력의 분포에 미치는 영향에 대한 분석을 통하여 하부층의 수평저항이 없을 경우에는 응력의 분포가 슬래브의 두께에 무관한 것을 알 수 있었지만 하부층의 수평저항이 있을 때에는 정착구 근처에서의 응력분포는 슬래브 두께에 관계없이 매우 유사하나 포장체의 중앙부에 가까워질수록 슬래브 두께가 얇은 포장체의 압축응력이 더 작아지는 것을 관찰할 수 있었다. 즉, 압축응력의 손실은 슬래브의 두께가 얇을 경우에 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

마. 정착단의 전단면적의 영향

앞에서 고려한 여러 가지 변수 이외에 정착단의 면적이 포장체의 압축응력에 미치는 영향에 대하여 구조해석을 수행한 결과 정착단의 면적은 슬래브 하부의 모서리를 따라 발생하는 압축응력에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

- 경제성과 시공 용이성을 고려할 경우에 3.5m폭의 슬래브 기준으로 6개 정도의 정착구가 적절하다고 판단된다.
- 압축응력의 손실을 야기하는 하부층 수평저항을 줄이기 위하여 슬래브와 하부층 간의 마찰을 줄일 수 있는 방법을 선정하고, 슬래브의 밑면과 접촉하는 하부층의 상단 재료를 전단저항이 작은 재료로 선택하여 사용하는 것이 필요시 된다.
- 포장체의 길이가 길어질수록 또는 연결하는 슬래브의 개수가 증가할수록 하부층의 수평저항에 의해 발생하는 압축응력의 손실이 증가하게 된다. 따라서 하부층 수평저항을 줄이기 힘들 경우에는 포장체의 길이를 줄이는 방향으로 설계함이 바람직하다.
- 슬래브의 두께가 얇아질수록 하부층 수평저항에 의한 압축응력의 손실은 증가하나 정착단의 전단면적은 포장체의 압축응력 분포에 크게 영향을 미치지 않는다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통기술원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.